先汉笛子的制造工艺和音阶构成

方　建　军

五十年代初以来，在豫、浙、甘、青、鄂、湘、贵等地陆续发现了一些先汉笛类乐器，已发表或见于报导的有以下几项。

1.河南舞阳贾湖裴李岗文化墓葬出土距今约八千年的骨笛，是目前发现笛子的最早标本。浙江余姚河姆渡遗址第四层出土河姆渡文化早期骨笛48支，距今约七千年。

2.青海西宁朱家寨长约文化墓葬曾出土一支骨笛，时代相当于中原殷周时期。青海都兰诺木洪搭里他里哈遗址曾采集一支诺木洪文化残骨笛（标本 0114），时代与朱家寨所出者约略相当。又湖北随县曾侯乙墓中室出土竹篪两支，时代在战国早期（前433年）。

3.长沙马王堆三号汉墓出土竹笛两支，时代属西汉前期（前168年）。广西贵县罗泊湾一号墓出土竹笛一支，时代亦属西汉前期。甘肃居延续官遗址出土残竹笛一支，当属西汉后期至东汉初年间制品。

现就上述笛子的制造工艺和音阶构成试行初步探索。

一、制造工艺

先汉制笛工艺流程依次大体分为选材、计财（包括确定管长、管径、孔位等）、开孔和调音等工序。不同时代和文化的笛子，加工程度和工序取舍也不一样。

(一)选材

史前笛子多选用动物（如鸟、禽等）肢、胫骨制成，这可能与当时人类的狩猎生活有关。制笛时，一般保留肢骨的自然状态，除截断骨管管端并开孔外，其余加工并不很多。目前发现的史前骨笛虽有出自墓葬的，但不如出自探方的数量多，故即使当时有竹制品，因入土年代甚久，恐也腐朽难辨。按理说，竹枋得来也较便当，但它容易干燥爆裂，对它的掌握要比骨材难些。所以史前是否已采用竹材制笛，目前尚难断定。

殷周时代，制笛选材骨、竹都有，但今知的骨制品出于社会发展较为原始的诺木洪和卡约文化，竹制品则见于音乐文化比较发达的曾国。《诗·周颂、执竟》：“钟鼓喤喤，磬筦将将”。《诗·商颂·那》：“鞉鼓渊渊，嘒嘒管声”。由此看来，利用枋制造笛类乐器的时间当不会晚于西周。骨笛的音色不如竹笛清脆响亮，竹笛在工艺上也较先进，因此西汉时期的笛子都是竹制。

(二)计材

史前笛子因主要用作信号工具或宗教法器，所以对其发音并无十分严格的要求，但要想使成品笛便于发音，也要摸索出相应的较规范的形制，如河姆渡二孔骨笛在器身一侧近管端处各设一孔且约占出土骨笛总数的72.9%即其实例。

管长、管径、孔位、孔径等任何一项都可能影响到笛的音高，所以要想使笛子发出具有一定音阶结构的音，并与其它乐器合奏，在制笛时就要对材料进行一定的设计。战国和西汉笛子有些显为合奏乐器，因此对音高的要求当有固定的标准。

一般来讲，管越长，管内径越大，基音（即筒音）频率越低，反之，频率越高。曾侯乙基二篪为合奏乐器，二器管长有异，因知有意识通过改变管长来调定笛子筒音的做法当不会晚于战国早期。

基础音确定后，就要开按孔以发出所需要音阶的相对音高。首先要设计出孔的位置。史前骨笛制作，为了能够发音（如摹拟鸟鸣或发出响亮信号），需要一定范围内的音高，因此孔位的选择并非毫无目的。如河姆渡骨笛中占72.9%的二孔骨笛吹孔、按孔各设于按指较合适的骨管凸弧一侧近管端和管尾处即是。

今知周、汉笛子吹孔一般都距管端很近（表1），按孔一般分为两组，每组三孔，（侯官竹笛则为一组一孔，一组二孔）两组间距、每组孔距都有一定规格

先汉笛子孔距统计表

笛　别	吹孔与管端	与孔①	与孔②	与孔③	与孔④	与孔⑤	与孔⑥	与孔[illegible]	管长	管内径
河姆渡 T22	1.4	7.8							10.4	2.8
河姆渡 T24	1.85	4	3.2						8.1	4~6
河姆渡 T13	2.1								5.7	4~7
曾侯乙 篪(74)	1.4	25.3	24.7	21.9	17.3	15.3	13.4		30.2	
曾侯乙 篪(79)	1.7	24.6	23.3	20.5	16.6	14.6	12.5		29.3	
马王堆 笛(长)	0.7	19.6	17.2	15.3	12.4	10.4	9.1	9	24.7	1.2
马王堆 笛(短)	0.5	17.6	15.86	14.62	12.76	11.27	6.2	约6.2	21.2	1.4
罗泊湾M1:81	9(后) 9.30(前)	16.5	14.5	12.5	8.5	7.2	6		36.3	1.6
甲渠候官笛	4.2	15.5	13.9	10.2					22.5	1.8

(详表一)，且适于按指。按孔与管尾之距越长此孔发音频率越高，反之频率越低。周、汉笛子制造者虽未必即利用笛子音高的经验公式进行计算以定孔位，但他们在长期的制笛实践中当能从经验上对材料进行总体的把握。

(三)开孔和调音

确定孔位后即可开孔。开孔法大体有磨孔和钻孔两种。

河姆渡骨笛其中有些笛孔剖面略呈V形，可能是磨成。此遗址第四层同出有骨凿、锥针和石凿等，河姆渡骨笛或有以这些工具加工开孔的可能。

周、汉时代笛子的开孔多为钻孔。战国和西汉笛子吹孔一般呈椭圆形，惟马王堆三号汉墓笛子吹孔略

呈方形是其独特之处。这与今克木人之库络多，景颇族之吐良和拉祜族之列都与笛类乐器的吹孔相类。

这时的竹笛在开按孔或吹孔前，多要把预备开孔的一面削去竹皮，成为平面，曾侯乙墓篪、马王堆三号汉墓笛和侯官笛皆是。为了探索当时这一做法的道理以及如何对笛子音高进行微调，我们做了三个仿制实验，现简括如下，略供参考。

实验选用塑胶管为材料，按出土实物尺寸仿制。需要说明的是，每管均为壁厚一致的“同径”管，与竹管自然生长形成的“异径”有一定出入。

实验1：仿制罗泊湾M1笛和居延侯官笛各一支，先开孔，经试奏后再把有孔一面以刀削平。

实验2：仿制马王堆三号汉墓笛（长者）一支，各孔均比原径略小，但孔径大体一致，径试奏后再调整至原径。

实验3：仿制马王堆三号汉墓笛（短者）一支，先不开背孔，经试奏检验后再按原规格开设背孔。

通过上述三项实验我们初步认识到：

——由实验1可知，开孔前削平孔面有利于按指，手感适当，比不削之弧面按指严实。吹奏时按孔处管壁可感到轻微振颤。虽然此处管壁厚度有所改变，但并不影响音高。由曾侯乙墓篪可知，这一做法至晚在战国早期即已出现，后为汉笛所沿用。罗泊湾M1笛两吹孔处也削平，以除竹节之凸棱，便于改换吹孔演奏。这种削平孔面的工艺在当今我国少数民族的笛类乐器中仍可见到，如门巴族之里令、景颇族之比笋⑫等即是。

——由实验2可知，用比原按孔径略小的相同孔径开孔，与调整为原径（见表二）后的音高有所不同，因知通过改变按孔大小可使音高得到相应的微调。马王堆三号汉墓笛按孔径大小各异，且非规整之椭圆形，正表明调音程度的不同。马王堆三号汉墓一长笛，最小按孔（孔6）径为0.4厘米，圆形，其余按孔径均比其为大。因知此孔当初所开可能较准，无需进一步微调，而用以开孔的工具直径当不会大于0.4厘米。

曾侯乙墓篪按孔大都为圆形，孔径多较一致，而出音孔和吹孔则为椭圆形，且径比按孔都大。因知它们还可作为调音孔。类似例子在其它西汉笛子上都有程度不同的存在。根据笛子主要通过改变按孔径调音看来，周、汉时代制笛最初开孔当略小，以便为微调校音留下应有余地。

先汉笛子孔径统计表

笛别	吹孔	孔①	孔②	孔③	孔④	孔⑤	孔⑥	孔背
河姆渡 T 22	0.25	0.25						
河姆渡 T 24	0.25	0.3	0.25					
河姆渡 T 13	0.2							
曾侯乙篪(74)	.65~.75	.65~.75	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	
曾侯乙篪(79)	.5~.9	.7~.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	
马王堆笛(长)	.5~.7	.5~.65	0.6	0.6	.65~.7	.5~.55	0.4	.3~.35
马王堆笛(短)	.24~.6	0.6	0.5	.3~.5	.4~.6	.3~.4	.2~.3	
罗泊湾M 1:B1								
甲渠候官笛	0.5	0.5	0.5	0.5				

——由实验3可知，马王堆三号汉墓笛背孔发音与全闭高八度音基本相同或略高，但比全闭高八度发音灵敏。今少数民族的笛类乐器也有背孔，有些还可起到控制发音的作用。

除上述工艺外，先汉笛子有的尚加以髹漆和绘纹，如曾侯乙墓二篪即是。

二、音阶构成

出土先汉竹笛大多保存不甚完好，有的已经残损难以直接吹奏，因此其固有音高也不可确知。现仅通过试奏仿制品并参照对原笛音高的计算结果，对几支先汉竹笛的音阶结构得以约略的了解。必须说明的是，原笛为竹制品，其管径和壁厚都不是十分规则的，仿制笛在这些方面就难以和原笛相符，其绝对音高已非原物所固有。但一般来说，这些仿制品的相对音列结构大体可信。现把试奏几支仿制先汉笛的听觉印象列为表三，以见其概。

仿制先汉笛子音高统计表

笛别	全闭孔	开孔①	开孔②	开孔③	开孔④	开孔⑤	开孔⑥	开背孔	计算基频
曾侯乙墓篪(74)		#C5-28	D5+35	#D5+40	#F5+60	#G5+50	#A5+30		
曾侯乙墓篪(79)		#C5+25	D5+3	#D5+50	#F5+6	#G5-26	#A5+44		
马王堆三号汉墓(长)	E4	#F4	#G4	A4+	B4+	#C5+	D5(#D5)	E5	338
马王堆三号汉墓(短)	#F4	#G4	#A4	B4+	#C5+	#D5+	E5(F5)	#E5	319.5
罗泊湾M 1:B1	#C4	E5	#F5	#G5	B5	#C6	E6-		29.2
甲渠候官笛	#G4	C5	#D5	G5+					433.5

多数仿制笛的筒音与我们对出土品按闭管基频经验公式 $f=\frac{34100}{4L+\frac{10}{3}R}$ 所约算、的结果大体相符。但有些笛因无法测知管内径，所以未能算出筒音的音高如曾侯乙墓二篪即是。

曾墓二篪的筒音（即孔1，亦称出音孔）经试以推测管半径进行验算，结果与今知音高出入较大，即标本79比标本74低半音，二篪并非同调。曾侯乙墓编钟编磬各有两均，一是姑洗均（C），一是新钟均（#F）。如仿制品筒音音高较为接近实际的话，那么标本79各孔发音似可视为顺次移低半音（按：演奏边棱音乐器时，气息的大小、激发角度的不同等均可导致音高的改变，故所测音分数仅可参考），它即可演奏姑洗均的五声加一变化音的宫调式乐曲；标本74则可演奏新钟均的五声加一变化音的微调式乐曲。这样，它们即可与同出编钟编磬合奏。

马王堆三号汉墓二笛筒音不同，相差两律，即一大二度。仿制品试测结果与计算音高大体相符。二笛按简单指法可奏出七声音阶，较长的一支以E为宫和以A为宫均可，较短的一支以F为宫和以B为宫均可据此，二笛不可一起合奏，当用于演奏不同调性的乐曲。至于它们与同墓所出琴、瑟、竽等的关系如何，尚待探索。

罗泊湾M1笛的筒音与计算结果也大体相符。它当可演奏以E为宫的五声羽调式乐曲，这与同墓所出部分青铜乐器（如编钟、铜鼓、锣等）以E为宫正相一致。此笛左侧（即竹节横隔之短端）一吹孔可发出

《中国少数民族乐器志》读后

赵沨

由中央民族学院少数民族文学艺术研究所编辑、由新世界出版社在1987年初出版的《中国少数民族乐器志》，是我国音乐界的一件大事。

我国有五十五个少数民族。考古学证明，他们都有很古老的文明史。其音乐文化史更是源远流长。例如彝族的“布里拉”、回族的“泥洼鸣”、藏族的“扎令”，均和汉族的“埙”同类，而西安半坡村等处出土的陶埙，距今已有四五千年历史。云南省楚雄出土的铜鼓，江川出土的铜葫芦笙、牟定出土的铜编钟，都是西南部少数民族的创造，属春秋战国时期的乐器。

我国少数民族乐器特色之浓，种类之多，与人民生活关系之密切，是世界上少见的。各民族唱歌跳舞时少不了它们，民间的传统节日及婚丧喜庆活动也少不了它们。因此它们为人民所喜爱、创造和发展。无疑，各少数民族乐器是中华民族文化的瑰宝。可是在我国历代史籍中却很少记载。1949年新中国诞生以后，我们对少数民族乐器的调查、收集和研究仍属薄弱环节。在“文化大革命”十年动乱中，大批民族乐器被销毁，有的已濒临失传。如不及时抢救，势必人亡器绝《中国少数民族乐器志》的编者们，积数十年调查研究的成果，并用五年时间集中进行实地考察、整理和初步研究，才完成了这部著作。这是对少数民族音乐文化进行初步普查的结果。本世纪七十年代，英国帕丁通出版公司普出版过《世界乐器》全书收录了约一千种乐器，但其中收录的中国乐器只有二十多种，而且释文谬误甚多，如把周代的钟说成锣，四胡说成二胡，把笙说成口琴。但《中国少数民族乐器志》一书收录的乐器达到502种，仅此一点就可以说明这本书的价值了。

《中国少数民族乐器志》分吹管乐器、拉弦乐器、弹拨乐器、击弦乐器和打击乐器五类。以215种吹管乐器而论，它们的制作材料有铜制、兽角制、虫茧制、田螺制、海螺制、鹰骨制、雁骨制、人骨制、竹制、木制、叶制、树皮制、葫芦制、苇制、草制等多种；簧片设置有无簧、单簧、双簧、多簧等；声源有咀吹和鼻吹两种；管的数量有无管、单管、双管和多管等多种。真可谓丰富多样。

这本书不仅有丰富的图片，而且有相当详细的释文，记载了乐器族属、民族语名称、汉语意译名称。乐器类属流行地区，历史沿革、形制、音色、音列、定弦、音域、演奏方法、使用场合、代表性曲目、著名艺人等。有的还附有简短谱例。全书有20余万字，700余幅照片，谱例200余条，可以说这是一本有关中国少数民族乐器的很好的工具书，为研究少数民族音乐添补了一个空白。

这本书是根据传统的乐器分类法来编排释文次序的。比如吹管乐器的笛子一类，从壮族的“奴”、景颇族的“比固”，一直讲到各种簧片笛，到藏族的“鹰笛”、“雁骨笛”等。这种编排方法的好处是可以把同类的乐器进行比较和归纳，缺点是不便于检索。其次是把一个民族的乐器分列在不同的部类，很难给读者以整体的观念（本书所附的索引，部份地弥补了这个缺点）。

音乐文化不是一个孤立的社会文化现象，它和经济、民族、民俗、宗教、礼仪等现象都有着密切的联系。因此，现代的音乐民族学极力主张把音乐文化现象放在与它伴生、共生的诸文化现象中进行系统的考察。因此，我认为这本书美中不足的是按照乐器分类法来叙述。而不是按照民族来综合叙述。这样一来，比如音乐和民俗学的关系。虽然在释文中也屡有涉及。但显得不够充分。这可能是求全责备的意见，提出来请编者们考虑吧。

最根本的是，这样的书在我国还是一个创举。对于编者们这种创造性的劳动，还是应该充分肯定的。

宫音之高八度，可见它并非随意开设，而是为了实际演奏的需要，我们认为，它应是文献记载的“两头笛⑯”

居延候官笛可奏出$^{\#}G$宫的四声音列，G_5略偏高，疑当为$^{\#}G_5$。如是，则可演奏以宫一角一徵一宫反构成的具有一定号召力的音调。此笛所出地点为一屯戍据点，因此这样的音阶构成恐非偶然，其作为军乐器的可能性也不宜排除。

总之，对出土笛子的仿制和试奏耳测只是一种权宜做法，仿制品与出土品在尺寸上差之毫厘，音高即受一定影响。所以对于这种仿制和试奏听觉印象，约略可供参考，仅此而已。